

太陽フレアにおける磁気リコネクション・ジェット内部の 多重衝撃波と粒子加速の可能性

田沼俊一

京都大学大学院 理学研究科 花山天文台

太陽フレアは磁気リコネクションによって発生すると考えられている。その際、短時間のうちに磁気エネルギーが解放され、高温ガスや高エネルギー電子が作り出される。それらが放射する X 線や γ 線は、Yohkoh や RHESSI 衛星などによって観測されている。特に高エネルギー電子から出る硬 X 線源は、磁気ループの頂点（ループトップ）と足元に分布している。しかし、高エネルギー電子がどのようにして加速され、ループトップと足元に閉じ込められるのかについては、いまだに分かっていない。

そこで我々は、ジェットがループトップのファストショックにたどり着く前に、ジェットの内部で衝撃波を作る（そして、その結果粒子加速が起こる）のではないかと考え、高分解の 2 次元 MHD シミュレーションを行なって調べた。

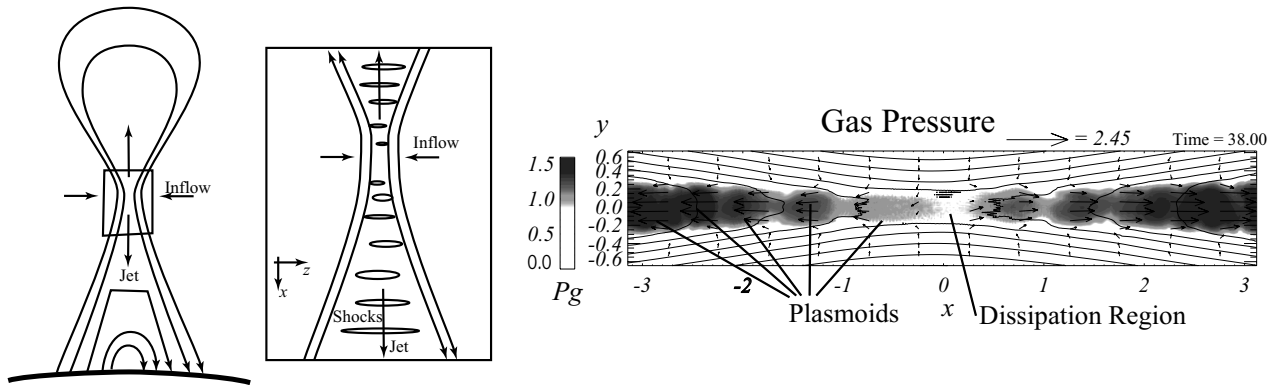
初期条件として $B_x = B_0 \tanh(y/1.0)$, $B_z = 0$, $p_g = p_0 + (B_0^2/8\pi)[1 - \tanh(y/1.0)^2]$ で与えられるハリス型の電流シートを作った。プラズマ β (=ガス圧/磁気圧) は、 $\beta = 8\pi p_0/B_0^2 = 0.2$ ($|y| \gg 1$)。全圧 (ガス圧+磁気圧)・温度・音速は全体で同様、ガス圧・密度・磁場強度は電流シートの外側で同様である。計算領域は $(L_x, L_y) = (208.0, 20.8)$ 、メッシュサイズは $(\Delta x, \Delta y) = (0.013, 0.013)$ (一様メッシュ)、メッシュ数は、 $(N_x, N_y) = (16000, 1600)$ とした。境界は、上下が対象境界、左右が周期境界である。本研究では、計算領域を広く取り、境界の影響を防いでいる。この計算では異常抵抗モデルを仮定し、ドリフト速度 ($v_d = |j|/\rho$) が閾値 v_c を越えると、その部分に局所的に大きな電気抵抗が働くようにしてある。磁気レイノルズ数は、 $R_m = L_x V_A/\eta_0 \sim 10^5$ である。そして初期摂動として、電流シートの中心部分に短時間だけ電気抵抗を与えた。

その結果、電流シートは 2 段階のテアリング不安定性によって薄くなり、異常抵抗が励起され速い磁気リコネクションが発生した。この時、磁気リコネクションが非定常に発生するために、リコネクション・ジェット (リコネクション流出流) 内部に多重衝撃波が発生した。また、電気抵抗モデルの与え方によっては、ジェットがケルビン・ヘルムホルツ不安定性によって振動して、斜め衝撃波が作られることもあることが分かった。

本研究により、世界で初めて、リコネクション・ジェットの内部衝撃波を分解できた。こうして作られる衝撃波が実際の太陽でも作られているとすれば、太陽における粒子加速に効くはずである。また、このような磁気リコネクションとそれに伴うジェットの内部衝撃波は、太陽と同様にリコネクションが起こっている原始星・降着円盤・銀河・銀河団の磁気エネルギー解放と粒子加速にも効くはずである。

参考文献

Tanuma, S. & Shibata, K. 2005, ApJ, 628, L77-80



太陽フレアのリコネクションジェットの内部衝撃波の模式図と、散逸領域周辺的气体圧の分布図。